

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 579 130**
(à utiliser que pour les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **85 04379**

(51) Int Cl⁴ : B 29 C 53/62, 53/66 / B 29 K 105:08; B 29 L 22:00.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 25 mars 1985.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOP « Brevets » n° 39 du 26 septembre 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *Société anonyme dite : AEROSPATIALE, société nationale industrielle.* — FR.

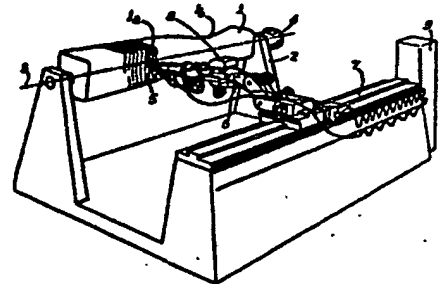
(72) Inventeur(s) : Jean-Louis Tisne et Daniel Cabanel.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Armengaud Jeune, Casanova et Lepeudry.

(54) Procédé et dispositif pour réaliser une pièce creuse de forme complexe par enroulement filamentaire au contact.

(57) L'invention concerne un procédé et un dispositif de réalisation d'une pièce creuse de forme quelconque par enroulement d'un produit composite à base de fibres continues imprégnées d'une résine. Cet enroulement est réalisé au contact, c'est-à-dire que l'on apporte le produit sans tension entre une génératrice d'un organe applicateur 5 et une surface portée par une pièce 1 en rotation relative, que l'on maintient ledit organe applicateur dans une orientation telle que la force d'application de ce dernier sur la surface susdite soit constamment sensiblement normale à ladite surface au point de contact et que ladite génératrice soit sensiblement perpendiculaire à la tangente à la trajectoire du produit. Enfin on stabilise le produit ainsi déposé sur la surface ou sur la couche précédente, au voisinage immédiat dudit point de contact. Application à la construction de pièces creuses en matériau composite et notamment en matériau filamentaire.



FR 2 579 130 - A1

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour réaliser une pièce creuse de forme quelconque par enroulement d'un produit composite à base de fibres (verre, carbone, kevlar etc...) continues impré-
gnées d'une résine.

Actuellement la technique de l'enroulement filamenteux consiste à faire décrire à une tête de distribution des fibres, qui se présentent sous forme d'un ruban pouvant atteindre environ deux dixièmes de millimètre d'épaisseur et avoir une largeur pouvant aller jusqu'à 20 millimètres environ, une trajectoire programmée, éloignée d'un mandrin de manière que les fibres soient posées sous tension à l'endroit voulu sur le mandrin. Le ruban est alors entraîné sous l'action simultanée de la tête de distribution et du mandrin qui provoque le dévidement de la fibre depuis des bobines de stockage. L'effort de tension est créé par le freinage des bobines et le frottement des fibres sur les divers éléments mécaniques qui la supportent et qui la guident.

Une telle technique possède une limite dans le fait que la fibre étant posée tendue, une partie concave située sur le mandrin ne peut pas être couverte. Une autre conséquence de cette pose sous tension réside dans le fait que les trajectoires de pose des fibres ne peuvent être que géodésiques ou proches de celles-ci.

Même dans le cas de formes de révolution relativement simple, ne présentant que des variations de diamètres, cette technique d'enroulement comporte des inconvénients notamment si les fibres sont imprégnées de résine thermoplastique rigide ou en poudre. En effet pour les appliquer il convient de les souder en continu et d'appliquer une pression de contact. Or la pression de contact étant uniquement fonction de la tension de la fibre il est très difficile d'en maîtriser la valeur lorsque l'on change de rayon de courbure.

Enfin dans cette technique connue, les mouvements de la tête ne peuvent être déduits de la trajectoire, sur des formes complexes, que soit par des calculs lourds, nécessitant l'intervention de l'homme de métier, soit par apprentissage c'est-à-dire enregistrement d'opération modèle.

La présente invention a pour objet de remédier aux inconvénients de la technique de l'enroulement filamenteux et par là de permettre la réalisation de pièces creuses de formes complexes, soit par pose de fibres sur l'extérieur de mandrin comportant des formes extérieures concaves, soit par pose de fibres à l'intérieur d'un moule comportant des formes intérieures convexes. Elle présente également l'avantage de pouvoir utiliser toutes sortes de fibres continues imprégnées d'une résine souple ou rigide selon des trajectoires très éloignées des trajectoires géodésiques imposées par la technique antérieure.

A cet effet l'invention a pour premier objet un procédé de réalisation d'une pièce creuse de forme quelconque par enroulement d'un produit composite à base de fibres continues imprégnées d'une résine, selon lequel on dépose au moins une couche dudit produit composite, se présentant sous la forme d'un ruban, sur une surface portée par une pièce de forme, au moyen d'un organe applicateur comportant une génératrice de contact entre laquelle et ladite surface passe ledit produit, ladite surface étant animée par rapport audit organe applicateur d'un mouvement relatif de rotation autour d'un axe fixe et de translation parallèle à cet axe dont la combinaison définit la trajectoire du ruban sur la pièce. Selon une caractéristique importante de l'invention on apporte le produit sans tension entre ladite génératrice et ladite surface, on maintient ledit organe applicateur dans une orientation telle que la force d'application dudit organe sur la surface soit constamment sensiblement normale à ladite surface au point de contact et que la génératrice susdite soit sensiblement perpendiculaire à la tangente à la trajectoire du ruban au point de contact, et enfin on stabilise le produit ainsi déposé sur la sur-

face ou la couche précédente, au voisinage immédiat dudit point de contact. La force d'application de l'organe applicateur sur ladite surface sera d'intensité sensiblement constante.

- Un second objet de l'invention réside
- 5 dans un dispositif pour mettre en oeuvre le procédé susdit dans lequel l'organe applicateur est constitué par une portion de cylindre disposée transversalement à l'extrémité d'une tête longitudinale reliée à un mécanisme de support orientable pour placer ladite tête le long de la normale
- 10 à la surface au point de contact et orienter l'axe de ladite portion de cylindre perpendiculairement à la tangente à la trajectoire du ruban au point de contact ; le mécanisme susdit est commandé par un dispositif programmé de détermination des composantes de ladite normale et de la ladite tangente dans un repère ou système de référence lié à l'axe
- 15 susdit de rotation relative, pour chaque point de ladite surface de coordonnées exprimées et connues dans ledit repère de référence.

- Avantageusement la tête longitudinale
- 20 d'application est attelée de manière démontable audit mécanisme de support.

- Cette tête d'application comporte un premier élément d'attelage au mécanisme de support susdit et un second élément porteur dudit organe applicateur est
- 25 monté à coulissement par rapport au premier élément à l'encontre d'une force tendant à les éloigner l'un de l'autre.

De manière avantageuse ledit second élément comporte un moyen de stabilisation du ruban.

- 30 Dans le cas des résines thermoplastiques ou thermodurcissables ce moyen de stabilisation est constitué par un dispositif d'apport d'énergie : soit une source de gaz chaud ou de rayonnements infrarouge ou micro-onde située à proximité du cylindre applicateur, soit par une pièce de
- 35 contact elle-même chauffée.

Dans un cas particulier pour des résines thermoplastiques l'organe applicateur et le moyen de stabilisation susdits sont constitués par une électrode ultrasonique présentant une génératrice en

regard de ladite surface et sur laquelle passe ledit ruban.

Par ailleurs le mécanisme de support orientable de la tête susdite est constitué par un bras articulé dont une extrémité porte ladite tête au moyen d'un organe
5 pour son entraînement autour de son axe longitudinal, l'autre extrémité étant attelée à un chariot susceptible d'être animé d'un mouvement dans deux directions orthogonales dont l'une est parallèle à l'axe fixe de rotation relative de la pièce de forme par rapport à l'organe applicateur.

10 Dans une variante de réalisation, le bras articulé susdit comporte au moins deux tronçons articulés entre eux autour d'un axe orthogonal à l'axe longitudinal de rotation de ladite tête et un dispositif de réglage de la position angulaire desdits tronçons autour de cet axe.

15 Dans une autre variante le bras articulé susdit est attelé audit chariot par l'intermédiaire d'un levier dont une extrémité est articulée au chariot autour d'un axe parallèle à l'axe susdit de rotation relative, son autre extrémité étant articulée audit bras autour d'un axe
20 parallèle au précédent, tandis que sont prévus des dispositifs de réglage de la position angulaire du levier par rapport au chariot autour du premier axe susdit et du levier par rapport au bras autour du second axe susdit.

Il sera avantageux de prévoir un magasin
25 de bobines de fibres attelées à l'élément de bras articulé situé le plus proche de la tête d'application.

Enfin les organes d'entraînement du chariot, de réglage de l'orientation de la tête par rapport au bras, de réglage des orientations des divers tronçons de bras
30 entre eux et relativement au chariot autour des axes susdits, sont constitués par des moteurs commandés par le dispositif programmé susdit.

L'invention sera mieux comprise au cours de la description donnée ci-après à titre d'exemple purement
35 indicatif et non limitatif qui permettra d'en dégager les avantages et les caractéristiques secondaires.

Il sera fait référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue générale d'une machine pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention sur un mandrin ;
- la figure 2 illustre par un schéma la mise en oeuvre du procédé selon l'invention dans un moule ;
- la figure 3 est un schéma en coupe de la tête d'application selon l'invention ;
- la figure 4 est le schéma d'un détail de la tête d'application selon la figure 3 ;
- la figure 5 est un schéma d'une variante de réalisation de la tête d'application ;
- la figure 6 est un schéma d'une autre variante de réalisation de ladite tête ;
- la figure 7 illustre le mécanisme de support orientable de la tête d'application ;
- la figure 8 est une vue d'une variante simplifiée du mécanisme de support de la tête d'application.

On expliquera le procédé de l'invention en regard des figures 1 et 2. Sur la figure 1 on a représenté en 1 une pièce de forme du type mandrin dont la surface extérieure est de forme complexe parcequ'elle présentant notamment des parties concaves la et en diabolos lb. Ce mandrin est monté à rotation sur un bâti 2 autour d'un axe 3, l'entraînement en rotation étant assuré par un moteur 4.

Un organe applicateur 5 situé à l'extrémité d'un mécanisme de support 6, décrits plus en détail en regard des figures suivantes, peut être animé par rapport à la surface du mandrin 1 d'un mouvement de translation parallèle à l'axe 3, le long de glissières 7 portées par le bâti 2. Un ruban de fibres continues est formé à partir d'un magasin de bobines 8 porté par le mécanisme 6, et est conduit jusqu'à l'organe applicateur 5 au moyen duquel il est déposé sur la surface extérieure du mandrin, l'organe 5 étant constamment maintenu au contact de cette surface et décrivant celle-ci le long

6

d'une trajectoire définie par la combinaison des mouvements de rotation du mandrin autour de l'axe 3 et de translation du mécanisme 6 le long des glissières 7.

- L'organe applicateur 5 est de forme générale-
- 5 ment cylindrique de manière à présenter une génératrice de contact sur la surface du mandrin 1. Le procédé selon l'invention consiste, d'une part à apporter sans tension le ruban de produit à enrouler entre ladite génératrice et la surface du mandrin 1 et, d'autre part à maintenir une force d'appli-
- 10 cation du produit sur la surface du mandrin dans une direction constamment sensiblement normale à la surface au point de contact. Ce procédé consiste également à maintenir la génératrice de contact susdite constamment sensiblement perpendiculaire à la tangente à la trajectoire du produit dans la zone
- 15 du point de contact. Le procédé de l'invention comporte enfin une phase de stabilisation du produit déposé qui consiste : pour les résines thermodurcissables à utiliser soit leur "collant" naturel ou provoqué par une prégélification, soit à créer au moins un début de polymérisation sous l'effet d'un
- 20 rayonnement ou d'un apport de chaleur, soit encore une combinaison des deux possibilités et pour les résines thermoplastiques, qui peuvent se présenter sous forme rigide ou de poudre à les faire fondre par un dispositif d'apport d'énergie, déjà cité, et à les refroidir pour les souder au ruban adja-
- 25 cent et à la sous-couche. Ce traitement de stabilisation est réalisé au voisinage immédiat du point d'application de manière que le ruban déposé conserve la forme de la surface qu'il épouse.
- La mise en oeuvre du procédé de l'invention implique la connaissance constante de la position du point
- 30 de contact de l'organe applicateur sur la surface, la connaissance de la normale à cette surface à chacun de ses points de contact, et la connaissance de la trajectoire du produit sur la surface. Ces divers facteurs peuvent être traduits numériquement afin d'être exploités par un moyen de commande
- 35 numérique 9 du mécanisme 6 de support de l'organe applicateur 5, soit par le calcul, soit par une méthode de copiage et d'enregistrement d'une opération modèle. Le calcul s'applique notamment lorsque la forme extérieure du mandrin est issue d'une conception assistée par ordinateur.

La figure 2 illustre par un schéma le fait que le procédé de l'invention peut s'appliquer par réalisation d'un enroulement filamentaire au contact sur une surface intérieure d'un moule creux. Le moule 10 peut être fixe et l'organe applicateur symbolisé par le galet 11 attelé à une machine tournante autour de l'axe 12. Le moule peut également être tournant autour de l'axe 12 auquel cas le mécanisme de support au galet 11 est fixe. De même que dans le cas précédent ce mécanisme de support est tel qu'il permet d'orienter la force d'application le long de la normale au point de contact à la surface qui est revêtue comme illustrée par les flèches 13. Il permet également d'orienter la génératrice de contact du galet 11 de manière à satisfaire à la condition énoncée précédemment et il comporte un moyen de stabilisation du produit déposé symbolisé par les flèche 14.

Pour assurer le pilotage de l'organe applicateur conformément au procédé selon l'invention, on utilise un dispositif de support orientable qui d'une part matérialise la direction de la force d'application et d'autre part possède tous les degrés de liberté nécessaires pour placer cette direction dans toutes les orientations désirées et modifier l'orientation de la génératrice de contact au cours du bobinage.

Ainsi dans une réalisation préférée ce dispositif comporte deux parties, à savoir une tête d'application le long de l'axe longitudinal de laquelle ladite force d'application est engendrée et qui porte l'organe applicateur et les moyens de stabilisation, et un mécanisme de support articulé permettant l'orientation de la tête et de la génératrice de contact. Les figures 3 à 6 illustrent schématiquement les têtes d'application. Les figures 7 et 8 illustrent deux réalisations d'un mécanisme de support équipé de la tête susdite.

En se reportant à la figure 3 on retrouve le mandrin 1 animé d'une rotation A sur lui-même. L'organe applicateur est ici constitué par un galet 20 monté à rotation libre à l'extrémité d'une pièce tubulaire 21 elle-même

logée à coulissement dans un manchon tubulaire 22. Un doigt de guidage 23 monté sur le manchon 22 coopère avec une lumière 24 pour lier en rotation les pièces 21 et 22 et constituer une butée à leur mouvement relatif. Les pièces 21 et 22 forment la tête d'application à l'intérieur de laquelle circule le ruban de fibres 25. Un ressort 26 disposé entre ces deux pièces a pour effet de repousser la pièce 21 en direction du mandrin 1. Le manchon 22 est monté à rotation dans un palier 27 solidaire du mécanisme articulé qui sera décrit ultérieurement, et peut être pivoté dans ce palier au moyen d'un moteur 28 et d'une transmission 29 reliant l'arbre du moteur 28 audit manchon 22. Il sera préféré une liaison aisément démontable entre le manchon 22 et sa partie de guidage et de transmission logée dans le palier 27. On voit que ces dispositions matérialisent la direction de la force d'application susdite le long de l'axe longitudinal des éléments 21 et 22, ladite force d'application résultant de l'effet du ressort 26. Ce n'est pas sortir du cadre de l'invention que de prévoir d'autres dispositifs élastiques ou commandés pour engendrer la force d'application, tels qu'un vérin attelé entre le manchon 22 et le coulisseau 21. La commande du moteur 28 et donc de la rotation de la tête autour de son axe longitudinal permet d'assurer l'orientation de la génératrice de contact du galet 20.

Sur la figure 4 on retrouve certains des éléments décrits en regard de la figure 3 avec les mêmes références. L'un des éléments 21 ou 22 (de préférence 21) porte un élément d'apport de chaleur 30, qui constitue un moyen de stabilisation du ruban déposé sur le mandrin 1. Ce moyen d'apport de chaleur peut être une buse d'amenée d'air chaud, un bec à l'extrémité duquel on forme une flamme ou une source de rayonnement. Ce moyen de stabilisation ainsi que ceux décrits en regard des figures 5 et 6 est utilisable pour un produit comportant des fibres continues imprégnées d'une résine rigide ou en poudre. La chaleur apportée sert alors à créer une fusion au moins partielle des résines thermoplastiques utilisées afin que le ruban se présente dépourvu de toute raideur au point de contact pour épouser intimement la surface du man-

drin 1. Le durcissement ultérieur, dû au refroidissement permet de conserver la forme prise et de lier le ruban à la sous-couche.

Sur la figure 5 on retrouve certains des
 5 éléments 3 et 4 avec les mêmes références. On notera que l'organe applicateur est ici constitué par la sonotrode 31 d'un générateur ultrasonique porté par le coulisseau 21. Le ruban 26 est alors guidé à l'extérieur du générateur ultrasonique au moyen de galets de renvoi 32. La fusion du ru-
 10 ban est alors assurée par ultrason aux points de contact de l'électrode 31 avec le mandrin 1.

Sur la figure 6 la fusion est réalisée au moyen d'une cavité à micro-ondes 33 portée par le coulisseau 21, à l'intérieur duquel circule le ruban 26. L'organe applica-
 15 teur est alors constitué par un galet 20.

On décrira maintenant en regard des figures 7 et 8, le mécanisme 6 de support et d'orientation de la tête d'application.

On rappellera que la position de l'organe
 20 applicateur par rapport à un point de contact déterminé et dans une orientation déterminée, nécessite la connaissance de six paramètres qui lui sont associés dans un repère de références données. La valeur de ces paramètres est déduite de la connaissance des paramètres de la normale
 25 susdite au point de contact, et de l'orientation de la trajectoire d'enroulement à ce point. L'extrémité de la tête d'application doit donc jouir de 6 degrés de liberté à savoir, 3 de-
 30 grés de liberté en translation selon les trois axes du repère susdit et 3 degrés de liberté en rotation autour de ces trois axes (variables d'Euler).

Le mécanisme de support selon la figure 7 possède les liaisons cinématiques suffisantes pour ajuster les paramètres liés à la position de la tête d'application aux paramètres connus de la normale à la surface de la trajec-
 35 toire du produit au point de contact.

En effet, le mécanisme de support 6 comporte un bras articulé dont un tronçon d'extrémité 40 porte, dans

son prolongement longitudinal, la tête d'application 21, 22 pourvue de son galet 20. Par rapport à ce bras la tête 21, 22 peut tourner, grâce au palier référencé 27 sur la figure 3, autour de son axe longitudinal sur une amplitude angulaire commandée par le moteur 28. L'autre extrémité du tronçon 40 est articulée à un tronçon 41 autour d'un axe 42 perpendiculaire à l'axe de rotation de la tête 21, 22. Un moteur 43 commande l'amplitude angulaire de ce pivotement. Le tronçon 41 est lui-même articulé à un tronçon 44 autour d'un axe 45 orthogonal à l'axe 42 susdit. L'amplitude du mouvement angulaire entre les tronçons 41 et 44 est commandée par un moteur 46. Ce dernier tronçon 44 est enfin lui-même articulé sur un chariot 47 autour d'un axe 48 parallèle à l'axe 45 et également parallèle à l'axe fixe 3 de rotation relative du mandrin par rapport à l'organe applicateur. Son pivotement est assuré par la commande d'un moteur 49.

Le chariot 47 est monté à coulissement sur une table 50 le long d'une direction orthogonale à l'axe 48 et déplacé dans cette direction par un moteur 51. La table 50 quant à elle est déplaçable sur des glissières 7 solidaires du bâti (cf. figure 1) au moyen d'un moteur d'entraînement 52.

Ainsi on peut assurer un déplacement de la tête 21, 22 parallèlement à elle-même en actionnant les moteurs 46, 49, 51 et 52. On peut obtenir l'orientation de la tête parallèlement à la normale susdite en agissant en outre, et en combinaison avec une action sur les moteurs susdits, sur le moteur 43. On placera enfin la génératrice de contact du galet 20 dans l'orientation souhaitée en commandant le moteur 28.

L'amplitude de chacun des mouvements élémentaires obtenus par les moteurs susdits, résultera de la commande numérique qui leur est associée et qui assurera en continu l'adéquation des paramètres liés à la tête d'application avec ceux liés à la surface et la trajectoire au point de contact.

Dans un mode non représenté de réalisation on aura remplacé le tronçon de bras 44 par un élément du chariot 47 capable de coulisser sur ce dernier perpendiculairement au plan dans lequel il évolue. Cet élément portera alors l'axe d'articulation 45 susdit.

Alors que la figure 7 illustre un mécanisme permettant de satisfaire à un enroulement au contact sur une surface de forme quelconque, dans les limites du mouvement possible de la tête inhérentes à la nature mécanique des liaisons, la figure 8 montre un dispositif simplifié parce que adapté à la réalisation d'un enroulement sur une surface plus simple.

Ainsi, si la surface à bobiner est de révolution autour d'un axe 60, les points de contact successifs pourront être choisis pour que la normale qui leur est associée soit toujours contenue dans un plan fixe passant par l'axe 60. L'organe applicateur n'aura alors besoin que de 4 degrés de liberté, c'est-à-dire trois dans ce plan (une translation radiale, une translation axiale et une rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan) et une rotation autour de la normale pour la prise en compte de la trajectoire. Le mécanisme de support s'en trouve alors simplifié. En effet sur les glissières 7 parallèles à l'axe 60, la table 50 coulisse comme précédemment grâce au moteur 52, de même que le chariot 47 coulisse sur la table 50 grâce au moteur 51. En revanche l'axe 42 est directement porté par le chariot 47 (avec le moteur 43) et le bras 40, plus trapu, porte la tête 21, 22 et le moteur 28.

On notera enfin sur ces deux dernières figures, que le magasin de bobines 8 ou la bobine elle-même 8a de ruban 25, est située au plus proche de la tête d'application pour que le trajet du ruban soit le plus court possible afin de réduire les frottements et les déformation non contrôlables.

L'invention trouve une application intéressante dans le domaine des matériaux composites.



REVENDICATIONS

1.- Procédé de réalisation d'une pièce creuse de forme quelconque par enroulement d'un produit composite à base de fibres continues imprégnées d'une résine selon lequel on dépose au moins une couche dudit produit composite, se présentant sous la forme d'un ruban sur une surface portée par une pièce (1, 10) de forme au moyen d'un organe applicateur (5, 11) comportant une génératrice de contact entre laquelle et ladite surface passe ledit produit, ladite surface étant animée, par rapport audit organe applicateur, d'un mouvement relatif de rotation autour d'un axe fixe (3, 60) et de translation parallèle à cet axe dont la combinaison définit la trajectoire du ruban sur la pièce, caractérisé en ce que l'on apporte le produit sans tension entre ladite génératrice et ladite surface, en ce que l'on maintient ledit organe applicateur (5, 11) dans une orientation telle que la force d'application (13) dudit organe sur la surface soit constamment sensiblement normale à ladite surface au point de contact et que ladite génératrice soit sensiblement perpendiculaire à la tangente à la trajectoire du ruban au point de contact et en ce que l'on stabilise le produit ainsi déposé sur la surface ou la couche précédente au voisinage immédiat dudit point de contact.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite force d'application (13) est d'intensité sensiblement constante.

3.- Dispositif pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'organe applicateur (5, 11, 20, 31) est constitué par une portion de cylindre disposée transversalement à l'extrémité d'une tête longitudinale (21, 22) reliée à un mécanisme (6) de support orientable pour placer ladite tête le long de la normale à la surface au point de contact et orienter l'axe de ladite portion de cylindre perpendiculairement à la tangente à la trajectoire du ruban au point de contact, ledit mécanisme (6) étant commandé par un dispositif programmé (9) de détermination

de la position de ladite normale et de ladite tangente dans un repère ou système de référence lié à l'axe susdit de rotation relative pour chaque point de ladite surface de coordonnées exprimées et connues dans ledit repère de référence.

4.- Dispositif selon la revendication 3 caractérisé en ce que la tête longitudinale (21, 22) d'application est attelée de manière démontable audit mécanisme de support (6).

5.- Dispositif selon la revendication 3 ou la revendication 4 caractérisé en ce que la tête d'application comporte un premier élément d'attelage (22) au mécanisme (6) de support susdit et un second élément (21) porteur dudit organe applicateur (20, 31) et monté à coulissement par rapport au premier élément (22) à l'encontre d'une force (26) tendant à les éloigner l'un de l'autre.

6.- Dispositif selon la revendication 5 caractérisé en ce que l'un des éléments (21) ou (22) comporte un moyen de stabilisation (30, 31, 33) du ruban (25).

7.- Dispositif selon la revendication 6 caractérisé en ce que, le ruban (25) comportant des résines thermoplastiques ou thermodurcissables, le moyen de stabilisation susdit (30, 31, 33) est constitué par un dispositif d'apport d'énergie.

8.- Dispositif selon la revendication 7 caractérisé en ce que le dispositif d'apport d'énergie est constitué par une source de gaz chaud (30) ou de rayonnement située à proximité dudit organe applicateur (20) ou par l'organe applicateur (20) lui-même chauffé.

9.- Dispositif selon la revendication 7 caractérisé en ce que le dispositif d'apport d'énergie est constitué par une cavité micro-ondes (33) situé dans ledit second élément (21) immédiatement en amont de l'organe applicateur (20).

10.- Dispositif selon la revendication 5 caractérisé en ce que le ruban (25) comportant des résines thermoplastiques, l'organe applicateur et le moyen de stabilisation susdits sont constitués par une électrode ultra-sonique (31) présentant une génératrice en regard de ladite surface et sur laquelle passe ledit ruban (25).

11.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 10 caractérisé en ce que le mécanisme (6) de support orientable de la tête susdite est constitué par un bras articulé dont une extrémité porte ladite tête (21, 22) au moyen d'un organe (27, 28, 29) pour son entraînement autour de son axe longitudinal, l'autre extrémité étant attelée à un chariot (47, 50) susceptible d'être animé d'un mouvement dans deux directions orthogonales dont l'une (7) est parallèle à l'axe fixe (3) de rotation relative de la pièce de forme par rapport à l'organe applicateur.

12.- Dispositif selon la revendication 11 caractérisé en ce que le bras articulé susdit comporte au moins deux tronçons articulés (40, 41) entre eux autour d'un axe (42) orthogonal à l'axe longitudinal de rotation de ladite tête (21, 22) et un dispositif de réglage (43) de la position angulaire desdits tronçons autour de cet axe (42).

13.- Dispositif selon la revendication 10 ou la revendication 11 caractérisé en ce que le bras articulé susdit est attelé audit chariot (47, 50) par l'intermédiaire d'un levier (44) dont une extrémité est articulée au chariot (47, 50) autour d'un axe (48) parallèle à l'axe susdit de rotation relative, son autre extrémité étant articulée audit bras autour d'un axe (45) parallèle au précédent tandis que sont prévus des dispositifs de réglage (46, 49) de la position angulaire du levier (44) par rapport au chariot (47, 50) autour du premier axe (48) susdit et du levier (44) par rapport au bras (41, 40) autour du second axe susdit (45).

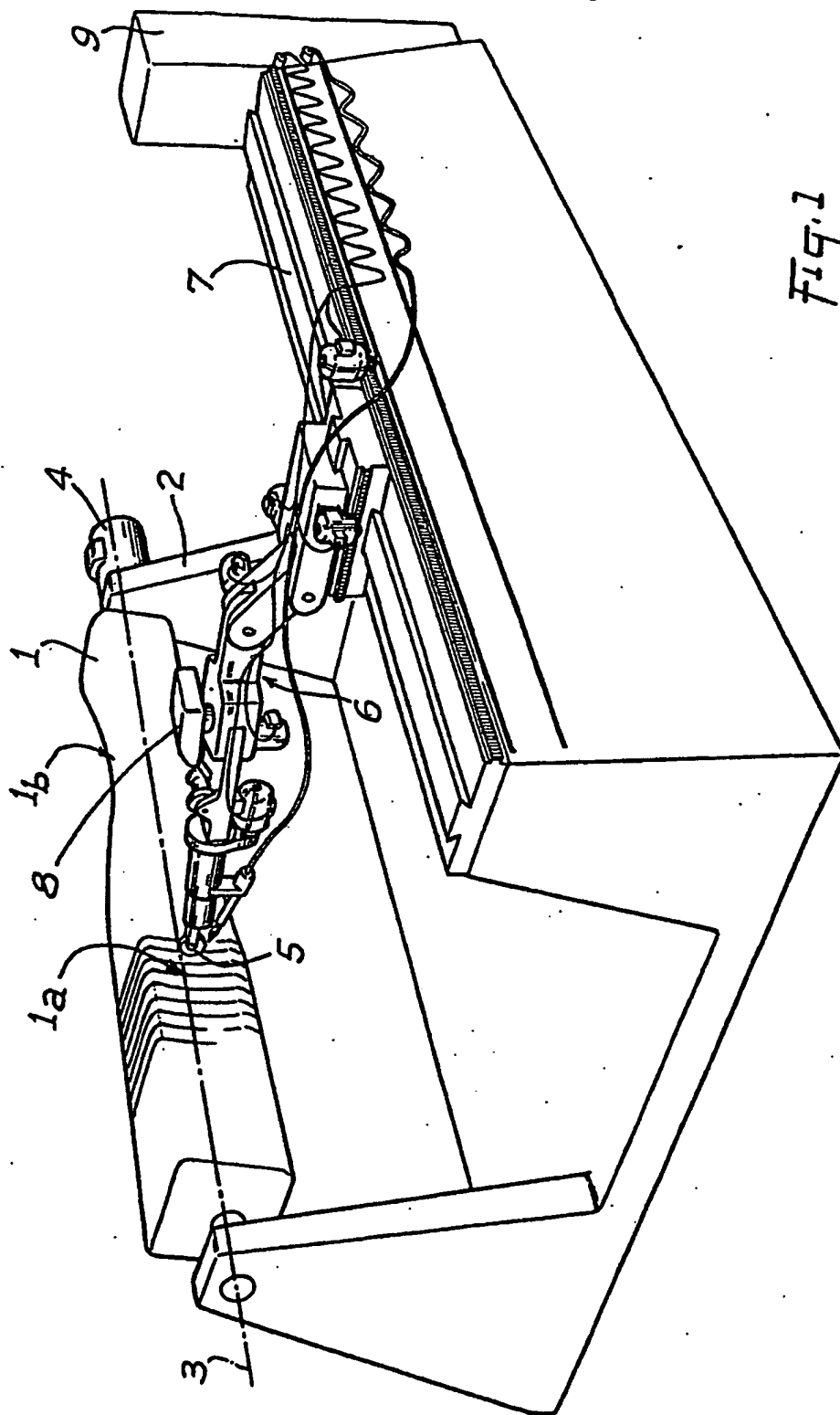
14.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 13 caractérisé en ce que l'élément (40) de bras articulé adjacent à la tête d'application (21, 22) est équipé d'un magasin de bobines (8) de stockage des fibres.

15.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 14 caractérisé en ce que les organes d'entraînement (28, 43, 46, 49, 51, 52) du chariot, de réglage de l'orientation de la tête par rapport au bras, et

de réglage des orientations des divers tronçons de bras
entre eux et relativement au chariot autour des axes
susdits, sont constitués par des moteurs commandés par le
dispositif (8) programmé susdit.

115

Fig. 1



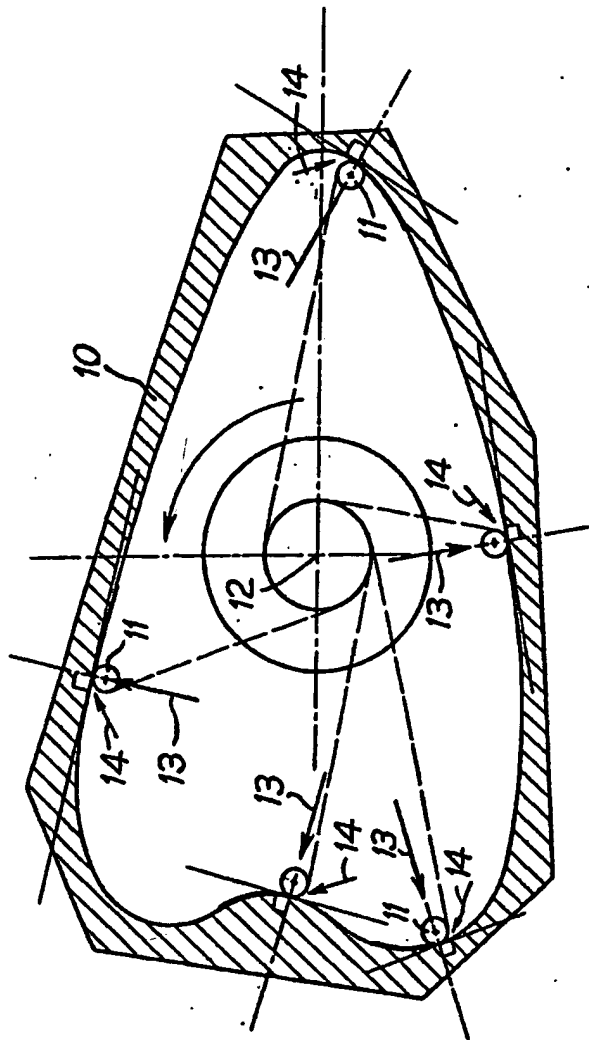


FIG. 2

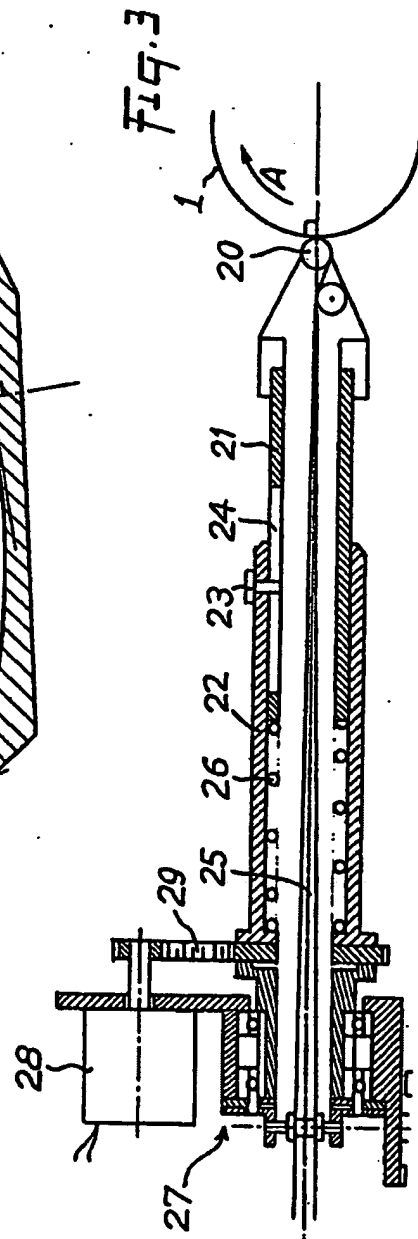


FIG. 3

Fig. 4

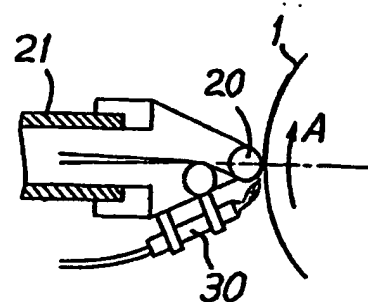


Fig. 5

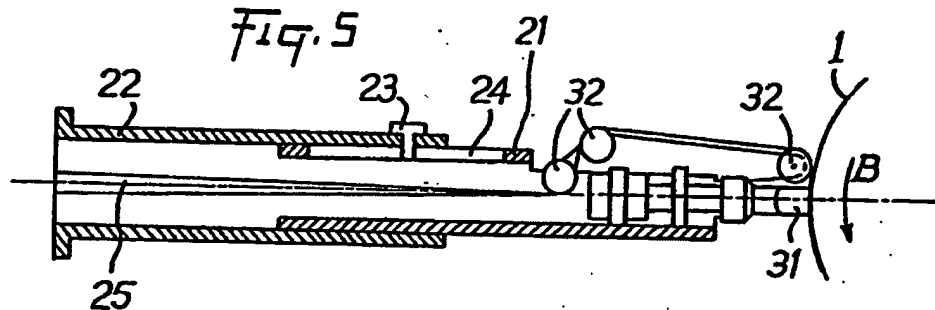


Fig. 6

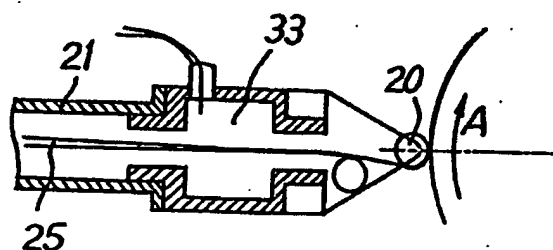
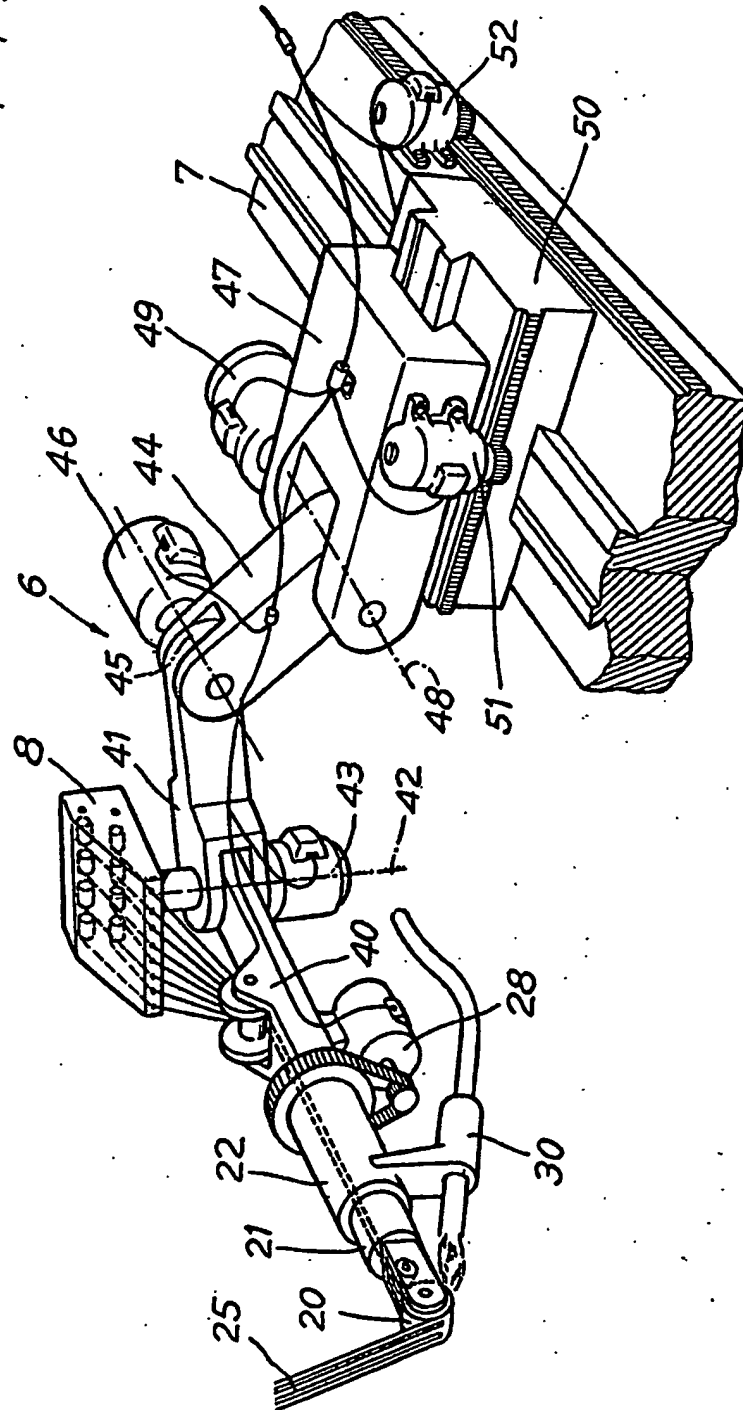
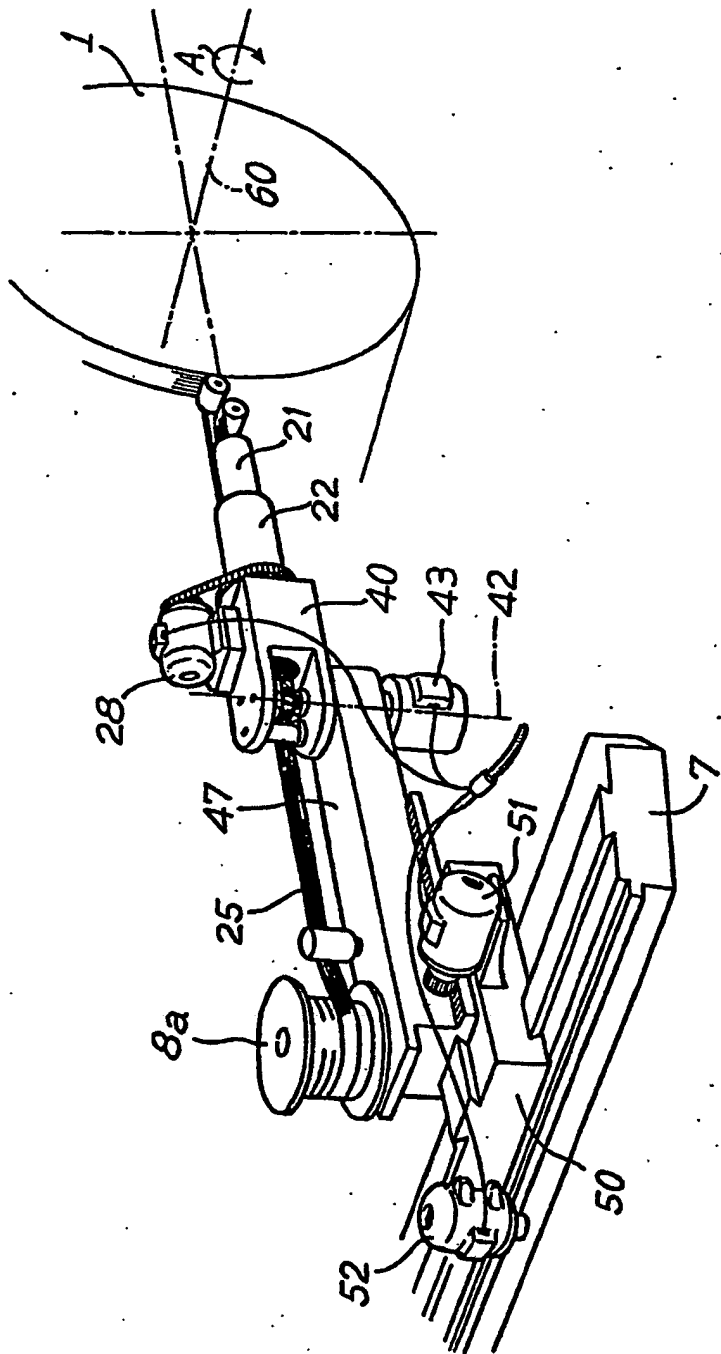


Fig. 7



5/5

Fig. 8



PROCESS AND DEVICE FOR MANUFACTURING A HOLLOW FILAMENT WOUND PART
WITH COMPLEX STRUCTURE

Jean-Louis Tisne, et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
WASHINGTON D.C.
MAY 1991

Country: France

Document No.: 2,579,130

Document Type: Patent

Language: French

Inventors: Jean-Louis Tisne, et al.

Applicant: AEROSPATIALE

IPC: B 29 C 53/62, 53/66/B 29 K 105:08; B 29 L 22:00

Application Date: March 25, 1985

Application No.: 85 04379

Publication Date: B.O.P.I. "Brevets" No. 39 of September 26, 1986

Foreign Language Title: Procédé et dispositif pour réaliser une
pièce creuse de forme complexe par enroulement
filamentaire au contact.

English Title: Process and Device for Manufacturing a Hollow
Filament Wound Part With Complex Structure

forming a hollow part having any structure by winding a composite product containing continuous fibers (glass, carbon, kevlar, etc.) impregnated with a resin.

Currently, the filament winding technique consists of making fibers, which appear in the form of a strip which may be up to about 20 millimeters thick and have a width up to about 20 mm. follow a programmed trajectory on a distribution head, separated from a mandrel so that the fibers are placed under tension in the desired area of the mandrel. The strip is then driven by the simultaneous action of the distribution head and the mandrel which causes the fiber to unwind from the storage spools. Tension is created by the braking of the spools and the fiber friction on the various mechanical elements which support and guide the fiber.

Such a technique has a limit in that since the fiber is placed under tension, a concave part located on the mandrel cannot be covered. Another consequence of this tension layout lies in the fact that the fiber layout trajectories can only be geodesic or close to these.

Even in the case of relatively simple forms of rotation, presenting only diameter variations, this winding technique has drawbacks, particularly if the fibers are impregnated with a rigid thermoplastic resin or powder. Actually, to apply them, they should be bonded continuously or a contact pressure should be

* Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.

applied. Moreover, since the contact pressure is solely a function of the fiber tension, it is very difficult to control its value when the radius curvature is changed.

Finally, in this known technique, the movements of the head can only be derived from the trajectory, on complex structures, by heavy calculations requiring the intervention of an expert, or by learning, i.e. recording a model operation. /2

The present invention intends to correct the drawbacks of the filament winding technique, thereby making it possible to produce hollow parts having complex structures, either by installing the fibers on the outside of the mandrel, which has a concave exterior structure, or by installing fibers inside a mold containing convex interior structures. It also has the advantage of being able to use all kinds of continuous fibers impregnated with a flexible or rigid resin, according to trajectories very removed from the geodesic trajectories imposed by prior technology.

Accordingly, the invention primarily intends to provide a process for producing a hollow part of any structure by winding a composite product containing continuous fibers impregnated with a resin, according to which at least one layer of said composite product is deposited, in the form of a strip, on a surface bearing a part having a structure, using an applicator consisting of a contact generator, said product passing between said contact generator and said surface going into a relatively rotary motion, with respect to said applicator component, about a fixed axis, and a translational movement parallel to this axis. These combined

ACCORDING TO AN IMPORTANT CHARACTERISTIC OF THE INVENTION, THE tensionless product is brought between said generator and said surface. Said applicator component is held in an orientation so that the application force of said component on the surface is constantly essentially perpendicular to said surface at the point of contact and that the generator is essentially perpendicular to the tangent of the strip trajectory at the contact point, and finally the product thus deposited on the surface or preceding layer is stabilized, very near said contact point. The application force of the applicator components on said surface will be of an essentially constant intensity.

/3

A second objective of the invention lies in a device for implementing said process in which the applicator component is made up of a cylinder portion arranged transversely to the end of a longitudinal head connected to a support mechanism, rotatable to place said head perpendicular to the surface at the contact point and to orient the axis of said cylinder perpendicularly to the tangent to the trajectory at the contact point; the above mechanism is controlled by a programmed device for determining the components of said perpendicular line and said tangent line in an identification marking or reference system associated with said axis of said relative rotation, for each point of said surface of coordinates expressed and known in said reference mark.

Advantageously the longitudinal application head is hooked to be detachable from said support mechanism.

This application head has a first hooking element to the said support mechanism of and a second bearer of said applicator component is installed to slide relative to the first element against a force tending to separate them from each other.

Advantageously, said second element has a means for stabilizing the strip.

In the case of thermoplastic or thermosetting resins, this stabilizing means is made up of an energy input device: either a hot gas source or infrared or microwave radiation located near the applicator cylinder, or by a contact part, also heated.

In one particular case for thermoplastic resins, the applicator component and the abovementioned stabilization means are made up of an ultrasonic electrode presenting a generator facing said surface and which said strip passes over.

Moreover, the rotatable support mechanism of said head is /4
made up of a hinged arm, one end of which carries said head using a component to drive it around its longitudinal axis, the other end being hooked to a carriage capable of undergoing a movement in both orthogonal directions, one of which is parallel to the fixed rotation axis of the shaping part relative to the applicator.

In one embodiment variant, the abovementioned hinged arm has at least two sections which are interconnected around an orthogonal axis to the longitudinal rotation axis of said head and device for adjusting the angular position of said sections around this axis.

In another variant, said hinged arm is hooked to said carriage via a lever, one end of which is hinged to the carriage around an

axis parallel to the axis of said relative rotation, its other end being hinged to said arm around an axis parallel to the preceding one, whereas devices are provided for adjusting the angular position of the lever relative to the carriage around the abovementioned first axis and lever relative to the arm around the abovementioned second axis.

It will be advantageous to provide a store of fiber spools hooked to the hinged arm element located the closest to the application head.

Finally, the components for driving the carriage, adjusting the head orientation with respect to the arm, adjusting the orientations of the various sections of arms between each other and relative to the carriage around said axes, are made up of motors controlled by the abovementioned programmed device.

The invention will be more clearly understood by reading the following description, provided purely for illustration and without limitation, which will reveal the advantages and secondary features.

Reference will be made to the attached drawings according to which:

/5

Figure 1 is a general view of a machine for implementing the process according to the invention on a mandrel;

Figure 2 illustrates by a diagram the implementation of the process according to the invention in a mold;

Figure 3 is a sectional diagram of the application head according to the invention;

Figure 4 is a detailed diagram of the application head according to Figure 3;

Figure 5 is a diagram of one embodiment variant of the application head;

Figure 6 is a diagram of another embodiment variant of said head;

Figure 7 illustrates the rotatable support mechanism of the application head;

Figure 8 is a view of a simplified variant of the support mechanism of the application head.

The process of the invention will be explained in reference to Figures 1 and 2. (1) in Figure 1 shows a mandrel type shaping part whose outer surface has a complex structure because it has notably concave (1a) and twin wheel (1b) parts. This mandrel is installed to rotate over a frame (2) about an axis (3), the rotational drive which is assured by motor (4).

Applicator component (5) located at the end of support mechanism (6), described more in detail with respect to the following figures, may be activated relative to the surface of the mandrel (1) with a translational motion parallel to axis (3), along slides (7) carried by frame (2). A continuous fiber strip is formed from a store of spools (8) carried by mechanism (6) and it is led to the applicator component (5) by which it is deposited on the outer surface of the mandrel, component (5) being constantly kept in contact with this surface and describing the latter along a defined trajectory by combining the rotational movements of the

/6

mandrel around axis (3) and translational movements of mechanism (6) along slides (7).

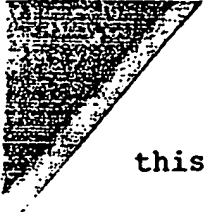
Applicator (5) has a generally cylindrical shape so as to present a contact generator point on the surface of mandrel (1). The process according to the invention consists, on the one hand, of carrying, without tension, the strip of product to be wound between said generator and the surface of mandrel (1) and, on the other hand, keeping an application force of the product on the surface of the mandrel in a direction constantly perpendicular to the surface at the point of contact. This process consists as well of maintaining the said contact generator essentially constantly perpendicular to the tangent to the trajectory of the product in the zone of the contact point. The process of the invention has a phase for stabilizing the product deposited which consists: for thermosetting resins of using either their natural "adhesive" or adhesive caused by a preliminary gelling, or of creating at least at the beginning of the polymerization under the effect of radiation or heat input, or yet a combination of the two possibilities and for thermoplastic resins, which may appear in a rigid or powder form, to melt them using an energy input device, already mentioned, and cooling them to seam them to the adjacent strip and underlying layer. This stabilization treatment takes place right next to the application point so that the strip deposited keeps the shape of the surface it fits.

The implementation of the process of the invention requires constant knowledge of the position of the contact point of the

applicator along the surface, knowledge of the line perpendicular to this surface at each of its contact points, and knowledge of the trajectory of the product on the surface. These various factors may be expressed numerically in order to be used by a numerical control (9) of support mechanism (6) of the applicator (5), either by calculation, or by a method for copying and recording a model operation. The calculation particularly applies when the outer shape of the mandrel is created according to a computer aided design.

Figure 2 illustrates by a diagram the fact that the process of the invention may be applied by producing a filament winding in contact with an inner surface of a hollow mold. Mold (10) may be attached and the applicator symbolized by roller (11) hooked to a machine that turns about axis (12). The mold can also rotate about axis (12) in which case the support mechanism for roller (11) is fixed. Similarly as in the preceding case, this support mechanism is such that it can be used to orient the application force perpendicular to the contact point of the surface which is lined up as illustrated by arrows (13). It also makes it possible to orient the contact generator of roller (11) so as to meet the condition set forth above, and it has a means for stabilizing the product deposited, symbolized by arrows (14).

To control the applicator according to the process of the invention, a rotatable support device is used which, on the one hand, materializes the direction of the application force and, on the other hand, has all degrees of freedom necessary for placing



this direction in all desired orientations and modify the orientation of the contact generator during the winding.

Accordingly, in a preferred embodiment, this device has two parts, namely an application head along the longitudinal axis of which said application force is created and which bears the applicator and stabilizer, and a hinged support mechanism making it possible to orient the head and contact generator. Figures 3 to 6 illustrate schematically the application heads. Figures 7 and 8 illustrate two embodiments of a support mechanism equipped with the aforementioned head.

In referring to Figure 3, the mandrel (1) is found in a rotary motion (A) about itself. The applicator here consists of roller (20) installed to rotate freely at one end of tubular part (21) itself lodged to slide in tubular sleeve (22). Guidance finger (23) installed on sleeve (22) cooperates with port (24) to connect in rotation parts (21) and (22) and form a stop to their relative movement. Parts (21 and 22) form the application head inside of which fiber strip (35) circulates. Spring (26) placed between these two parts pushes back part (21) toward mandrel (1). Sleeve (22) is installed to rotate in bearing (27) integral with the hinged mechanism which will be described below, and may be pivoted in this bearing using a motor (28) and transmission (29) connecting the shaft of motor (28) to said sleeve (22). Preference will be given to an easily detachable link between sleeve (22) and its guidance and transmission part lodged in bearing (27). We see that these arrangements materialize the direction of said

/8

application force along the longitudinal axis of elements (21 and 22), said application force resulting from the effect of spring (26). Other elastic devices or devices controlled to create the application force can be provided without deviating from the scope of the invention. These include an actuator hooked between sleeve (22) and slide (21). The control of motor (28) and therefore the rotation of the head about its longitudinal axis assures the orientation of the contact generator of roller (20).

Figure 4 shows certain elements described in reference to Figure 3 with the same references. One of the elements (21) or (22) (preferably 21) bears heat input element (30), which is a means for stabilizing the strip deposited on mandrel (1). This heat input means can be a hot air intake nozzle, a nozzle at the end of which a flame or radiation source is formed. This stabilization means as well as those described in reference to Figures 5 and 6 is usable for a product which has continuous fibers impregnated with a rigid resin or powdered resin. The heat provided therefore serves to create at least a partial melting of the thermoplastic resins used, in order for the strip to appear without any stiffness at the contact point to closely fit the surface of mandrel (1). The subsequent hardening, due to cooling /9 makes it possible to preserve the shape formed and to bind the strip to the underlayer.

Figure 5 shows certain elements (3) and (4) with the same references. It will be noted that the applicator is formed of an ultrasonic electrode (31) of an ultrasonic generator carried by

slide (21). Strip (26) is then guided outside the ultrasonic generator using return rollers (32). The strip melting is then carried out by ultrasonic means at the contact points of electrode (31) with mandrel (1).

In Figure 6 the melting takes place using a microwave cavity (33) carried by slide (21), inside of which strip (26) circulates. The applicator is then formed of roller (20).

The support and orientation mechanism (6) of the application head will now be described referencing Figures 7 and 8.

It will be recalled that the position of the applicator with respect to a determined contact point and in a determined orientation, requires knowledge of the six parameters which are associated with it in a data reference mark. The value of these parameters is derived from knowledge of the parameters of said perpendicular to the contact point, and the orientation of the winding trajectory at this point. The end of the application head should therefore play 6 degrees of freedom, namely, (3) degrees of translatory freedom according to the three axes of the aforementioned reference mark and 3 degrees of rotational freedom about these three axes (Euler's variables).

The support mechanism according to Figure 7 has adequate kinematic links to adjust the parameters associated with the position of the application head with known parameters of the perpendicular to the surface of the trajectory of the product at the contact point.

Actually, support mechanism (6) has hinged arm, the end

section (40) of which bears, its longitudinal prolongation, application head (21, 22) provided with its roller (20). Head (21) can rotate relative to this arm, via reference bearing (27) in Figure 3, about its longitudinal axis over an angular amplitude controlled by motor (28). The other end of section (40) is connected to section (41) about an axis (42) perpendicular to the rotation axis of head (21, 22). Motor (43) controls angular amplitude of this pivot. Section (41) is itself hinged to section (44) about axis (45) orthogonal to above axis (42). The amplitude of the angular movement between sections (41 and 44) is controlled by motor (46). The latter section (44) is itself hinged to carriage (47) about axis (48) parallel to axis (45) and also parallel to relative fixed rotation axis (3) of mandrel with respect to the applicator. Its pivoting is controlled by a motor (49).

Carriage (47) is installed to slide over table (50) along an orthogonal direction to axis (48) and displaced in this direction by motor (51). Table (50) is displaceable over slides (7) integral with frame (See Figure 1) via driving motor (52).

Thus head (21, 22) can be displaced along a direction orthogonal to axis (48) and displaced parallel to itself by activating motors (46, 49, 51 and 52). The head can be oriented parallel to the abovementioned perpendicular line by activating motor (43), and by activating the latter simultaneously with the abovementioned motors. The contact generating point of roller (20) will be placed in the desired orientation by controlling motor

(28).

The amplitude of each of the elementary movements obtained by aforementioned motors will result from the numerical control which is associated with them and which will continuously assure compliance with the parameters associated with the application head with those associated with the surface and trajectory at the contact point.

In one embodiment mode (not shown), arm (44) section will /11 have been replaced by an element of carriage (47) capable of sliding over the latter perpendicular to the plane in which it is moving. This element will therefore bear the aforementioned hinging axis (45).

Whereas Figure 7 illustrates one mechanism making it possible to comply with a contact winding over one surface having any form, within the limits of the possible head movement inherent to the mechanical nature of the links, Figure 8 shows a simplified device, because it is adapted to the embodiment of a winding over a simpler surface.

Accordingly, if the winding surface revolves about axis (60), the successive contact points may be selected so that the perpendicular line which is associated with them is always obtained in a fixed plane passing through axis (60). The applicator will therefore only need 4 degrees of freedom, i.e. three in this plane (a radial translation, an axial translation and a rotation about the perpendicular line to be included in the trajectory. The support mechanism is therefore simplified. Actually on slides (7)

(52), and carriage (47) slides over table (50) via motor (51). Conversely axis (42) is directly carried by carriage (47) (with motor (43) and arm (40), carries head (21, 22) and motor (28).

Finally, it will be noted in these figures, that spool store (8) or the spool itself (8a) of strip (25) is located closer to the application head so that the path of the strip is as short as possible, in order to reduce friction and uncontrollable deformations.

The invention finds an interesting application in the field of composite materials.

CLAIMS

/12

1. Process for producing a hollow part having any structure by winding a composite product containing continuous fibers impregnated with a resin according to which at least one layer of said composite product is deposited, and which comes in the form of a strip on a surface carried by parts (1, 10) having the form of an applicator (5, 11) with a contact point and said product passes between said contact point and said surface. Said surface is activated, with respect to the applicator, in a relative rotary movement about fixed axis (3, 60) and translation movement parallel to this axis, both of which define the trajectory of the strip on the part. The invention is characterized in that tensionless products are brought between said generator point and said surface, and in that said applicator (5, 11) is kept in an orientation so

constantly essentially perpendicular to said surface at the contact point and that said generator point is essentially perpendicular to the tangent at the trajectory of the tape at the contact generator and in that the product thus deposited on the surface or above layer immediately adjacent to said contact point is stabilized.

2. Process according to Claim 1, characterized in that said application force (13) has an essentially constant intensity.

3. Device for implementing the process according to any of the above claims, characterized in that the applicator (5, 11, 20, 31) is made up of a cylinder portion arranged transversally to the end of a longitudinal head (21, 22) connected to a rotatable support mechanism (5) to place said head perpendicular to the surface at the contact point and orient the axis of said cylinder portion perpendicular to the tangent to the trajectory of the strip at the contact point, said mechanism (6) being controlled by a programmed device (9) for determining the position of said perpendicular line and said tangent in a reference mark or reference system

associated with the aforementioned relative rotation axis for each point of said surface of coordinates expressed and known in said reference mark. /13

4. Device according to Claim 3, characterized in that the longitudinal application head (21, 22) is hooked to said support mechanism (6) in a detachable manner.

5. Device according to Claim 3 or claim 4, characterized in that the application head has a first hooking element (22) to the

above support mechanism (6) and second element (21) bearing said applicator (20, 31) and installed to slide relative to the first element (22) against a force (26) tending to separate them from each other.

6. Device according to Claim 5, characterized in that one of elements (21) or (22) has a means (30, 31, 33) for stabilizing strip (25).

7. Device according to Claim 5, characterized in that strip (25) has thermoplastic or thermosetting resins, the aforementioned stabilization means (30, 31, 33) is made up of an energy input device.

8. Device according to Claim 7, characterized in that the energy input device is made up of a hot gas source (30) or radiation source located near said applicator (20) or by applicator (20), which is itself heated.

9. Device according to Claim 7, characterized in that the energy input device is made up of a microwave cavity (33) located in said second element (21) immediately upstream from applicator (20).

10. Device according to Claim 5, characterized in that strip (25) comprising thermoplastic resins, the aforementioned applicator and stabilization means are made up of an ultrasonic electrode (31) presenting a generating point facing said surface and which said strip (25) passes over.

11. Device according to any of Claims 3 to 10, characterized /14 in that the orientable support mechanism (6) of said head is made

up of a hinged arm whose end carries said head (21, 22) via component (27, 28, 29) to drive it around its longitudinal axis, the other end being hooked to carriage (47, 50) capable of being activated with a movement in both orthogonal directions, one of which (7) is parallel to the fixed relative rotation axis (3) of the shaping part relative to the applicator.

12. Device according to Claim 21, characterized in that the aforementioned hinged arm has at least two hinged sections (40, 41) between them around an axis (42) orthogonal to the longitudinal rotation axis of said head (21, 22) and device (43) for adjusting the angular position of said sections around this axis (42).

13. Device according to Claim 10 or Claim 11, characterized in that the aforementioned hinged arm is hooked to said carriage (47, 50) via lever (44) whose end is hinged to carriage (47, 50) around axis (48) parallel to the preceding one, whereas devices (46, 49) are provided for adjusting the angular position of the lever (44) relative to carriage (47, 50) around the first axis (41, 40) around the second aforementioned axis (45).

14. Device according to any of claims 10 to 13, characterized in that element (40) of hinged arm adjacent to application head (21, 22) is equipped with a fiber storage bobbin store (8).

15. Device according to any of Claims 3 to 14, characterized in that driving components (28, 43, 49, 51, 52) of the carriage for adjusting the orientation of the head relative to the arm, and for adjusting the orientation of the various arm sections to each other and relative to the carriage around the aforementioned

axis, are made up of motors controlled by the aforementioned programmed device.